УДК 614.8 EDN: KSEWOH

Модель ранжирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Часть 2*

ISSN 1996-8493
DOI: 10.54234/CST.19968493.2023.20.3.77

М.И. Ломакин, А.В. Докукин, В.Б. Мошков, И.Ю. Олтян, Ю.М. Ниязова

Аннотация
Рассматривается задача ранжирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера; предложена модель ранжирования чрезвычайных ситуаций на основе информации об оцениваемых параметрах чрезвычайных ситуаций. Модель базируется на принципе доминирования и учитывает случайность оцениваемых параметров чрезвычайных ситуаций. При этом никаких предположений о распределении параметров чрезвычайных ситуаций не делается; для определения вероятности стохастического доминирования одной чрезвычайной ситуации над другой используются результаты решения проблемы моментов Маркова.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация; оцениваемые параметры; вероятность; функция распределения; стохастическое доминирование.

Natural and Man-made Emergencies Ranking Model. Part 2

ISSN 1996-8493
DOI: 10.54234/CST.19968493.2023.20.3.77

M. Lomakin, A. Dokukin, V. Moshkov, I. Oltyan, Yu. Niyazova

Abstact
The problem of ranking emergencies of natural and man-made nature is considered; ranking emergencies model based on information about the estimated parameters of emergencies is proposed, the model is based on the principle of dominance and takes into account the randomness of the estimated parameters of emergencies, while no assumptions are made about the distribution of emergency parameters; to determine the probability of stochastic dominance of one emergency over another the results of Markov moments problemsolutions are used.

Key words: emergency situation; estimated parameters; probability; distribution function; stochastic dominance.

08.08.2023

* Часть 1 — см. «Технологии гражданской безопасности», 2023, № 2 (76).

Введение

Настоящая статья является продолжением статьи [1], в ней используются все обозначения и допущения предыдущей статьи.

В статье предлагается также модель ранжирования ЧС на основе имеющейся информации об оцениваемых параметрах ЧС. Модель базируется на принципе доминирования и учитывает случайность оцениваемых параметров ЧС; но в отличие от статьи [1] в этой статье не делается предположений о распределении случайных величин, характеризующих чрезвычайную ситуацию.

Основные результаты

Аналогично статье [1] рассматривается множество $ЧС_i$, $i = \overline{1, n}$, например, природного или техногенного характера, характеризуемых одинаковыми, но разными по величине параметрами X_j, $j = \overline{1, m}$, т.е. каждая i-ая ЧС может быть охарактеризована матрицей параметров:

$$MX_i = \begin{pmatrix} x_{i11}x_{i12}\dots x_{i1m} \\ x_{i21}x_{i22}\dots x_{i2m} \\ \dots \\ x_{ik1}x_{ik2}\dots x_{ikm} \end{pmatrix}, \ i = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Здесь:

MX_i — матрица параметров i-ой ЧС;

каждый столбец матрицы — это информация о конкретном параметре, которую можно рассматривать как выборку из некоторого распределения;

в общем случае количество значимых элементов k в столбцах может быть различным.

Ранжирование ЧС будем проводить по уровню стохастического доминирования. Под «стохастическим доминированием q-ой ЧС» над u-ой ЧС будем понимать такую ситуацию, когда вероятность того, что параметры q-ой ЧС не меньше оцениваемых параметров u-ой ЧС для всех $q \neq u$, больше вероятности того, что оцениваемые параметры u-ой ЧС не меньше оцениваемых параметров q-ой ЧС для всех $q \neq u$, т.е. когда выполняется следующее условие [1]:

$$P(\bigcap_{l=1}^{m}(X_{ql} \geq X_{ul})) > P(\bigcap_{j=1}^{m}(X_{uj} \geq X_{qj})). \quad (2)$$

В этом выражении все обозначения и соотношения соответствуют статье [1], в которой рассмотрен. случай когда оцениваемые параметры ЧС распределены в соответствии с нормальным законом. Для этого случая в [1] получено соотношение для вероятности того, что параметры q-ой ЧС не меньше оцениваемых параметров u-ой ЧС, которое (соотношение) использовано для ранжирования ЧС природного характера по параметрам, приведенным в таблице 1 статьи [1].

В реальной ситуации распределение параметров ЧС неизвестно и, как правило, не может быть идентифицированы по имеющейся ограниченной информации. В этом случае для ранжирования ЧС будем использовать несколько иной подход, основанный на нахождении гарантированных (нижних, верхних) оценок (обычно, нижних) вероятности того, что параметры q-ой ЧС не меньше оцениваемых параметров u-ой ЧС.

Представим выражение (2) в следующем виде:

$$P(\bigcap_{l=1}^{m}(\frac{X_{ql}}{X_{ul}} \geq 1)) > P(\bigcap_{j=1}^{m}(\frac{X_{uj}}{X_{qj}} \geq 1)). \quad (3)$$

Введем переменные Z_{qul} и Z_{qui} следующим образом:

$$Z_{qul} = \frac{X_{ql}}{X_{ul}}, \ Z_{uqj} = \frac{X_{qj}}{X_{uj}}.$$

На основе имеющихся значений (выборок) величин X_{ql}, X_{ul} сформируем выборки величин Z_{qul} и Z_{qui} путем деления соответствующих величин и определим начальные выборочные моменты (далее — моменты) случайных величин Z_{qul} и Z_{uqi} по соотношениям [2]:

$$\mu_{qul} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} z_{quli}^{k}; \mu_{uqj} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} z_{uqji}^{k}. \quad (4)$$

Определим также множество функций распределения с моментами, равными моментам, определенным по соотношениям (4):

$$F_0 = \{F(t) : \int_0^\infty t^k dF(t) = \mu_k, \}. \quad (5)$$

Соотношение (3) можно записать в виде:

$$\prod_{l=1}^{m} P_{qul}(1) > \prod_{j=1}^{m} P_{uqj}(1), \quad (6)$$

где $P_{qul}(1) = P(Z_{qul} \geq 1), P_{uqj}(1) = P(Z_{uqj} \geq 1)$

или

$$\prod_{l=1}^{m}(1 - F_{qul}(1)) > \prod_{j=1}^{m}(1 - F_{uqj}(1)). \quad (7)$$

Соотношения (6), (7) могут быть использованы для ранжирования ЧС. Однако в силу того, что функции распределения параметров ЧС неизвестны и не могут быть определены по конечным выборкам, представленным в таблице 1 работы [1], следует перейти к рассмотрению гарантированных оценок вероятностей того, что параметры q-ой ЧС не меньше оцениваемых параметров u-ой ЧС, а именно:

$$\prod_{l=1}^{m} \min_{F_{qul}(t)\in F_{qul0}} P_{qul}(1) > \prod_{j=1}^{m} \min_{F_{uqj}(t)\in F_{uqj0}} P_{quj}(1), \quad (8)$$

где:

$F_{qul}(t)$ — неизвестная функция распределения, из которой могла быть получена выборка Z_{qul};

$F_{uqj}(t)$ — неизвестная функция распределения, из которой могла быть получена выборка Z_{uqj};

F_{qul0} — множество функций распределения с моментами равными выборочным μ_{qul};

F_{uqj0} — множество функций распределения с моментами равными выборочным μ_{uql}.

Для выполнения процедуры ранжирования ЧС в соответствии с соотношением (8) необходимо найти нижнюю оценку вероятности

$$P_{\min} = \min_{F(t)\in F_0}(\tau). \quad (9)$$

В этом соотношении все индексы опущены, но при нахождении конкретных оценок эти индексы должны быть использованы.

Последняя задача решена в работах авторов [3–8] и сводится к тому, что нижняя оценка находится на дискретном распределении, удовлетворяющем моментным равенствам [9]. Для двух и трех известных (используемых) моментов случайных величин Z_{qul} и Z_{uqj} оценки находятся аналитически (но при трех моментах предпочтительнее численное нахождение оценок), при большем числе моментов оценки находятся только численно из системы уравнений [3]:

$$\sum_{j=1}^{v} p_j t_j^i = \mu_i, (\mathrm{i} = \overline{0, n}), \quad (10)$$

в которой одна из переменных t_j принимает значение, равное τ, в нашем случае $\tau = 1$.

Пусть на основе имеющихся данных, представленных в таблице 1 из работы [1], определены выборки случайных величин Z_{qul} и Z_{uqj} и для каждой случайной величины определены три момента μ_1, μ_2, μ_3, тогда для нахождения $P_{\min}$ необходимо решить систему уравнений:

$$\begin{cases} p_1 + p_2 + p_3 = 1, \\ p_2 t_2 + p_3 \tau = \mu_1, \\ p_2 t_2^2 + p_3 \tau^2 = \mu_2, \\ p_2 t_2^3 + p_3 \tau^3 = \mu_3. \end{cases} \quad (11)$$

Откуда находим, что:

$$\min_{F_{qul}(t)\in F_{qul0}} P_{qul}(1) = 1 - p_1 - p_2$$

или необходимо решить систему уравнений:

$$\begin{cases} p_1 + p_2 + p_3 = 1, \\ p_2 \tau + p_3 t_3 = \mu_1, \\ p_2 \tau_2^2 + p_3 t_3^2 = \mu_2, \\ p_2 \tau_2^3 + p_3 t_2^3 = \mu_3. \end{cases} \quad (12)$$

Откуда находим, что:

$$\min_{F_{qul}(t)\in F_{qul0}} P_{qul}(1) = 1 - p_1.$$

Аналогично находим:

$$\min_{F_{uqj}(t)\in F_{uqj0}} P_{uqj}(1).$$

Решив соответствующие уравнения и найдя нижние оценки вероятности доминирования, формируем матрицу стохастического доминирования ЧС следующего вида:

$$MSD = \begin{pmatrix} P_{11} P_{12} \ldots P_{1n} \\ P_{21} P_{22} \ldots P_{2n} \\ \ldots \\ P_{n1} P_{n2} \ldots P_{nn} \end{pmatrix}, \quad (13)$$

где вероятность P_{ij} — вероятность доминирования i-ой ЧС над j-ой ЧС, которая определяет ранги ЧС.

Заключение

Таким образом, в настоящей статье предложена модель ранжирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера по оцениваемым параметрам. Ранжирование ЧС проводится на основе стохастического доминирования, при этом исходные значения оцениваемых показателей ЧС рассматриваются как выборки из некоторого неизвестного распределения. Предложен подход для определения вероятности доминирования одной ЧС над другой как вероятность того, что оцениваемые параметры одной ЧС не меньше оцениваемых параметров другой ЧС в случае, когда функции распределения параметров ЧС неизвестны, а известны только конечные выборки параметров. Оценки вероятности доминированияодной ЧС над другой ЧС определены как гарантированные оценки вероятности доминирования на множестве распределений с заданными моментами, равными выборочным моментам случайных величин, равных отношению параметров случайных величин ЧС.

Литература

1. Ломакин М.И., Докукин А.В., Мошков В.Б., Ниязова Ю.М. Модель ранжирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Ч. 1 // Технологии гражданской безопасности. 2023. № 2. С. 67–71.
2. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей. М.: Физматгиз, 1988. 406 с.
3. Ломакин М.И. Гарантированные оценки вероятности безотказной работы в классе распределений с фиксированными моментами // Известия АН СССР. Автоматика и телемеханика. 1990. № 1. С.154-161.

4. Ломакин М.И., Сухов А.В., Докукин А.В. Ниязова Ю.М. Оценка показателей надежности космических аппаратов в условиях неполных данных // Космические исследования. 2021. Т. 59. № 3. С. 235–23.
5. Lomakin M., Buryi A., Dokukin A., Niyazova J., Strekha A., Balvanovich A. Estimation of quality indicators based on sequential measurements analysis // International Journal for Quality Research. 2020. № 1. pp. 823–834.
6. Buryi A.S., Lomakin M.I., Sukhov A.V. Quality assessment of «stress-strength» models in the conditions of big data // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 2020. № 9 (3). С. 3276.
7. Ломакин М.И., Ниязова Ю.М., Докукин А.В., Злыднев М.И., Гарин А.В. Оценка качества бизнес-процессов предприятия в условиях неполных данных // Сварочное производство. 2022. № 10. С. 80–84.
8. Ломакин М.И., Сухов А.В. Оценка показателей качества, описываемых моделью «нагрузка-прочность» // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2018. № 4 (44). С. 22.
9. Крейн М.Г., Нудельман А.А. Проблема моментов Маркова и экстремальные задачи (Идеи и проблемы П.Л. Чебышева и А.А. Маркова и их дальнейшее развитие). М.: Наука, 1973. 551 с.

Сведения об авторах

Ломакин Михаил Иванович: д.т.н., д.э.н., проф., ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), гл н. с. института.
Москва, Россия.
SPIN-код: 4943-3724.

Докукин Александр Владимирович: д.э.н., ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), гл. н.с. науч.-исслед. центра.
Москва, Россия.
SPIN-код: 6402-0280.

Мошков Владимир Борисович: к.э.н., доц., ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), зам. начальника института.
Москва, Россия.
SPIN-код: 7792-2243.

Олтян Ирина Юрьевна: к. т. н., ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), учёный секретарь института.
Москва, Россия.
SPIN-код: 3476-5213.

Ниязова Юлия Михайловна: к.э.н., ФГБУ ВПО МИИГАиК, доцент.
Москва, Россия.
SPIN-код: 9558-1820.

Information about authors

Lomakin Mikhail I.: ScD (Technical Sc., Economic Sc.), Professor, VNII GOChS (FC), Chief Researcher of the Institute.
Moscow, Russia.
SPIN-scientific: 4943-3724.

Dokukin Aleksandr V.: ScD (Economic Sc.), VNII GOChS (FC) Chief Researcher, Researcher Center.
Moscow, Russia.
SPIN-scientific: 6402-0280.

Moshkov Vladimir B.: PhD (Economic Sc.), Assistant Professor, VNII GOChS (FC), Deputy Head of the Institute.
Moscow, Russia.
SPIN-scientific: 7792-2243.

Oltyan Irina Yu.: PhD (Technical Sc.), VNII GOChS (FC), Scientific Secretary of the Institute.
Moscow, Russia.
SPIN-scientific: 3476-5213.

Niyazova Julia M.: PhD (Economic Sc.), Moscow State University of Geodesy and Cartography, Assistant Professor.
Moscow, Russia.
SPIN-scientific: 9558-1820.